

**И.Г. Пимонов, к.т.н., доц., Г.Г. Пимонов, к.т.н., доц.**

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

## **ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

*Исследованиями устанавливается, что рациональное, по критерию полезной наибольшей мощности, значение температуры (вязкости) рабочей жидкости зависит от технического состояния насоса. Наибольшая полезная мощность достигается оптимизацией соотношения между потерями давления, внутренними утечками в составляющих гидропривода и расходами мощности системы охлаждения на обеспечение рациональной температуры рабочей жидкости. Применение рационального температурного режима целесообразно и является неиспользованным резервом энергосбережения и повышения эффективности эксплуатации гидроприводов мобильных машин.*

**Ключевые слова:** строительная машина, гидропривод, энергосбережение, полезная мощность, рациональный температурный режим.

**I.G. Pimonov, Ph.D, Associate Professor, G.G. Pimonov, Ph.D, Associate Professor**  
Kharkov National Automobile and Highway University

## **SUBSTANTIATION OF ENERGY-SAVING TEMPERATURE REGIME OF HYDRAULIC CONSTRUCTION MACHINES**

*The research proved that rational (by the criterion of useful maximum power) value of temperature (viscosity) of the working liquid depends on technical condition of the pump. The biggest useful power can be achieved by optimization of the ratio of pressure losses and internal leakage in hydraulic drive components to the power consumption of the cooling system in order to provide rational temperature of the working liquid. Using rational temperature mode is a reasonable and unused reserve of energy saving and increasing efficiency of running hydraulic drives of mobile machines.*

**Keywords:** construction machine, hydraulic drive, energy saving, useful power, rational temperature regime.

УДК 621.87

**В.О. Дзюра, к.т.н., доц.**

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПІДНІМАННЯ НА ЗУБ ПРОТЯЖКИ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ НАПІВКРУГЛИХ КАНАВОК ЗА УМОВИ РІВНОМІРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗУБІВ**

*Отримано залежності для визначення величини піднімання на зуб протяжки для оброблення напівкруглих канавок за умови рівномірного навантаження зубів для забезпечення стабільності процесу різання. Отримано залежності для визначення площі зрізу одним зубом протяжки.*

**Ключові слова:** протяжка, площа зрізу, навантаження, канавки, зуби.

**Вступ.** У деталях машин, що входять до складу вузлів сучасних машин використовується велика кількість профільних отворів різного функціонального призначення.

Технологія отримання профільних отворів є складною операцією технологічного процесу і вимагає проектування спеціального різального інструменту, який забезпечував би високу точність, надійність та довговічність.

На надійність інструменту і якість оброблюваної ним поверхні значний вплив має рівномірність сприйняття навантаження інструментом. Оскільки припуск на один зуб визначається як площа поперечного перерізу оброблюваного матеріалу, що знімається за прохід, то при обробці інструментом, який має декілька робочих елементів, нам необхідно забезпечити однакові припуски що припадуть на ці елементи. Це забезпечить стабільний режим навантаження інструмента з боку оброблюваного матеріалу, що збільшить ресурс його роботи і зменшить шорсткість оброблюваної поверхні, а також збільшить точність поверхні унаслідок зменшення вібрацій. Оскільки довжина оброблюваної поверхні деталі є невеликою, то можемо вважати, що різальні зуби вийшли з робочої зони, а працюють лише перехідні і калібрувальні зуби.

**Огляд останніх джерел, досліджень і публікацій.** У літературних джерелах [1–4] автори наводять загальну інформацію щодо проектування протяжок, не виділяючи особливостей їх проектування для обробки профільних поверхонь. У статті [5] автори запропонували розрахунок товщини зрізу матеріалу, що враховує зміну зрізу по висоті шліців.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Під час аналізу літературних джерел виявлено, що при проектуванні профільних протяжок не надається великого значення висоті розміщення різальних зубів. В основному рекомендують розміщувати різальні зуби з однаковою величиною піднімання на один зуб у межах однієї групи зубів.

**Постановка завдання.** Метою цього дослідження було встановлення впливу відносної висоти розміщення сусідніх зубів протяжки на навантаження, яке вони сприймають.

**Основний матеріал і результати.** Розглянемо процес обробки на прикладі двох сусідніх зубів протяжки (рис. 1).

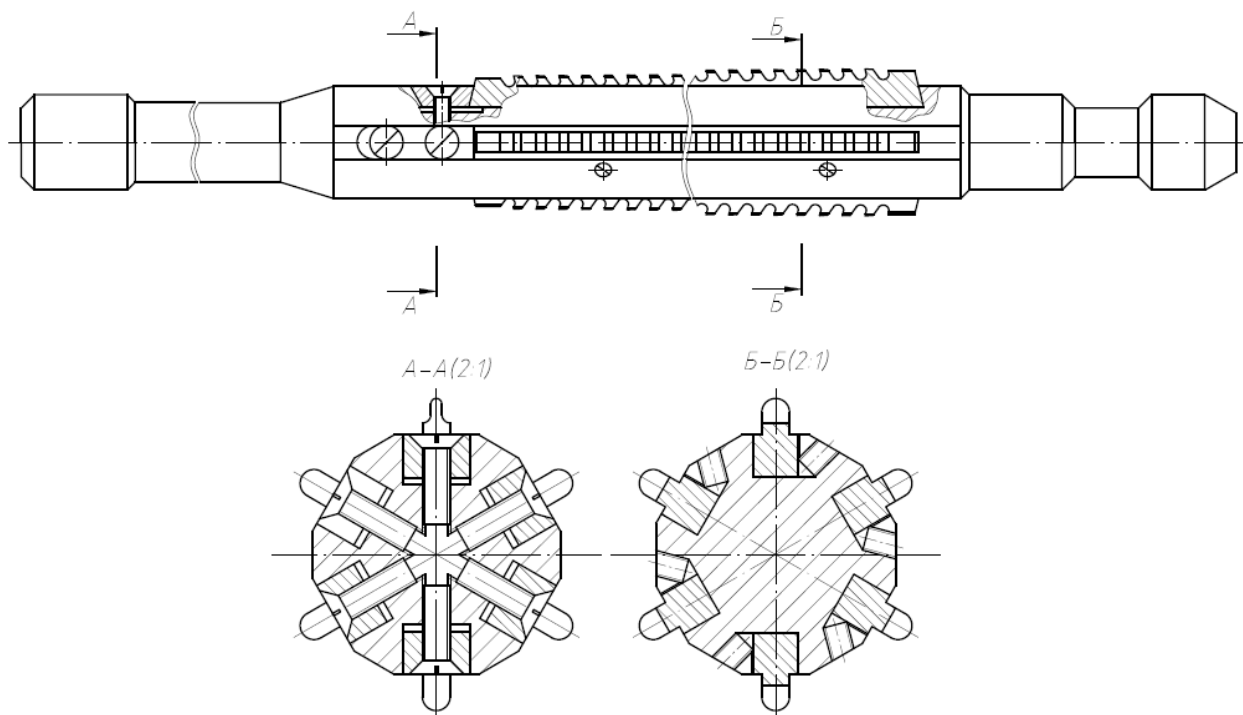


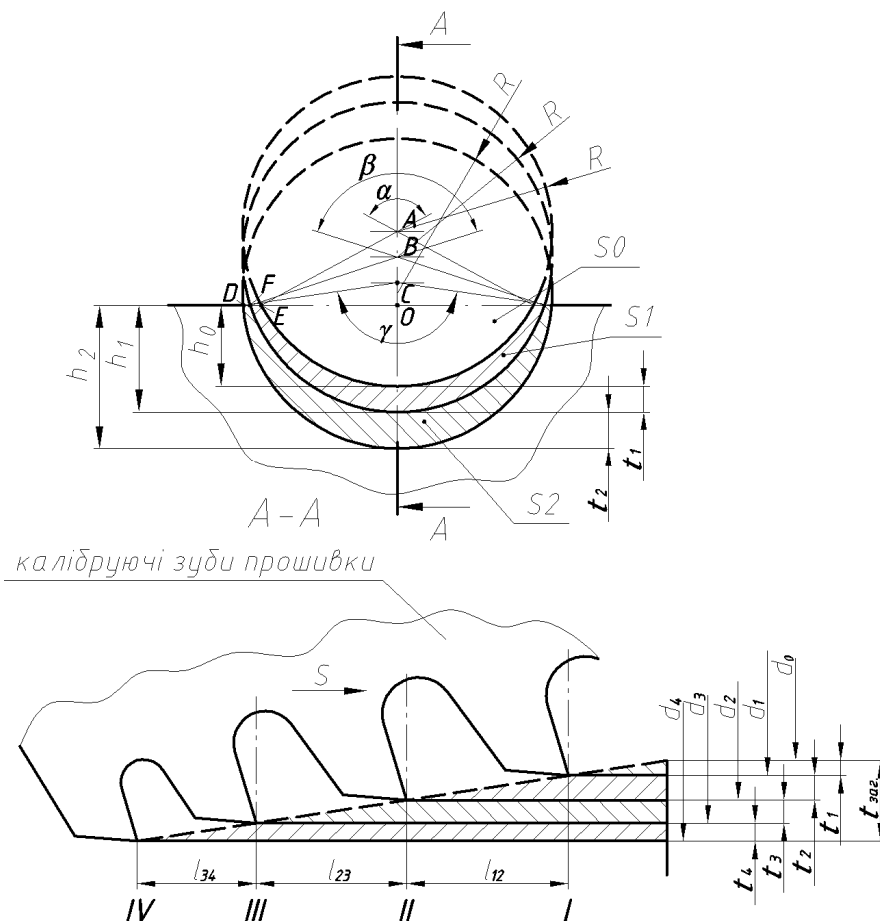
Рис. 1. Протяжка для оброблення напівкруглих канавок деталей машин

Величини припусків (площі), що зрізатимуться в процесі обробки, позначимо через  $S_1$  і  $S_2$ . Це будуть площі фігур, утворені перетином кіл радіусом  $R$ , що дорівнює радіусу

робочого профілю зуба інструмента. Оскільки обробка відбувається з профілем зуба з однаковим радіусом робочої поверхні, то  $R_2 = R_3 = R$ .

При цьому величина підйому на зуб для першого зуба буде дорівнювати  $t_1 = h_1 - h_0$ , а для наступного  $t_i = h_i - h_{i-1}$ .

Деталі для оброблення можуть надходити як з попередньо утвореними канавками, так і без. Профіль канавки в заготовці відповідає кінцевому профілю півкруглої канавки з радіусом  $R_1 = R$ , але з величиною припуску на обробку, тобто її профіль можна описати як круговий сектор із центром у точці  $A$  і центральним кутом  $\alpha$ , який можна розбити на площу трикутника  $AOE$  та площу сегмента з відповідним центральним кутом.



**Рис. 2. Розрахункова схема для визначення величини підйому на зуб протяжки:**  
а) поперечний переріз протяжки з заготовкою; б) поздовжній переріз протяжки з заготовкою

Площа цього сегмента буде дорівнювати:

$$F_1 = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot \alpha}{360^\circ} - 2S_{AOE}. \quad (1)$$

Розглянувши трикутник  $AOE$ , можемо записати

$$OE = R \cdot \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Але оскільки

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{1 - \cos^2 \frac{\alpha}{2}} = \sqrt{1 - \frac{(R - h_0)^2}{R^2}} = \frac{\sqrt{R^2 - (R - h_0)^2}}{R} = \frac{2Rh_0 - h_0^2}{R}, \quad (2)$$

то

$$OE = 2Rh_0 - h_0^2; AO = R - h_0.$$

Звідси

$$S_{AOE} = \frac{1}{2}(R - h_0)\sqrt{2Rh_0 - h_0^2}. \quad (3)$$

Отже, підставивши значення виразу (3) у формулу (1), отримаємо

$$F_0 = \frac{\pi \cdot R^2 \alpha}{360^\circ} - \frac{1}{2}(R - h_0)\sqrt{2Rh_0 - h_0^2}. \quad (4)$$

Відповідно для зуба із центром профілю в точці  $B$

$$F_1 = \frac{\pi \cdot R^2 \beta}{360^\circ} - \frac{1}{2}(R - h_1)\sqrt{2Rh_1 - h_1^2}. \quad (5)$$

І для зуба із центром профілю в точці  $C$

$$F_2 = \frac{\pi \cdot R^2 \gamma}{360^\circ} - \frac{1}{2}(R - h_2)\sqrt{2Rh_2 - h_2^2}. \quad (6)$$

Згідно з розрахунковою схемою (рис. 2) (площі фігур  $S_1$  і  $S_2$  відповідно дорівнюють:

$$S_1 = F_1 - F_0; \quad (7)$$

$$S_2 = F_2 - F_1. \quad (8)$$

Підставивши відповідні значення у формули (7) і (8), отримаємо

$$S_1 = \frac{\pi R^2 \beta}{360^\circ} - \frac{1}{2}(R - h_1)\sqrt{2Rh_1 - h_1^2} - \frac{\pi R^2 \alpha}{360^\circ} + \frac{1}{2}(R - h_0)\sqrt{2Rh_0 - h_0^2}, \quad (9)$$

де,  $S_1, S_2$  – площі, що знімаються двома послідовно розміщеними зубами, мм<sup>2</sup>;  $h_0$  – глибина канавки, отримана в результаті попередньої операції, мм;  $h_1$  – глибина канавки після проходження першого зуба, мм;  $h_2$  – глибина канавки після проходження другого зуба, мм;  $t_1$  – величина зміщення першого зуба відносно умовного профілю канавки одержаного на попередній операції в поперечному перерізі, мм;  $t_2$  – величина зміщення наступного зуба відносно попереднього в поперечному перерізі, мм.

$$S_2 = \frac{\pi R^2 \gamma}{360^\circ} - \frac{1}{2}(R - h_2)\sqrt{2Rh_2 - h_2^2} - \frac{\pi R^2 \beta}{360^\circ} + \frac{1}{2}(R - h_1)\sqrt{2Rh_1 - h_1^2}. \quad (10)$$

Прирівнявши значення  $S_1$  і  $S_2$ , що є умовою даної задачі, отримаємо трансцендентне рівняння для визначення оптимального значення величини  $h_2$

$$\begin{aligned} \frac{\pi R^2}{360^\circ} (2\beta - \alpha - \gamma) - (R - h_1)\sqrt{2Rh_1 - h_1^2} + \frac{1}{2}(R - h_0)\sqrt{2Rh_0 - h_0^2} + \\ + \frac{1}{2}(R - h_2)\sqrt{2Rh_2 - h_2^2} = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Значення кутів  $\alpha$  можна визначити із залежності:

$$\alpha = 2 \arccos \frac{R - h_0}{R}; \quad \beta = 2 \arccos \frac{R - h_1}{R}; \quad \gamma = 2 \arccos \frac{R - h_2}{R}.$$

Це рівняння дає можливість одержати значення глибини канавки  $h_2$  після проходження  $i$ -го зуба протяжки при відомій початковій глибині канавки  $h_0$  і заданій величині глибини канавки  $h_1$ , отриманої після проходження  $i - 1$  зуба із забезпеченням однакової величини припуску, що знімаються цими зубами.

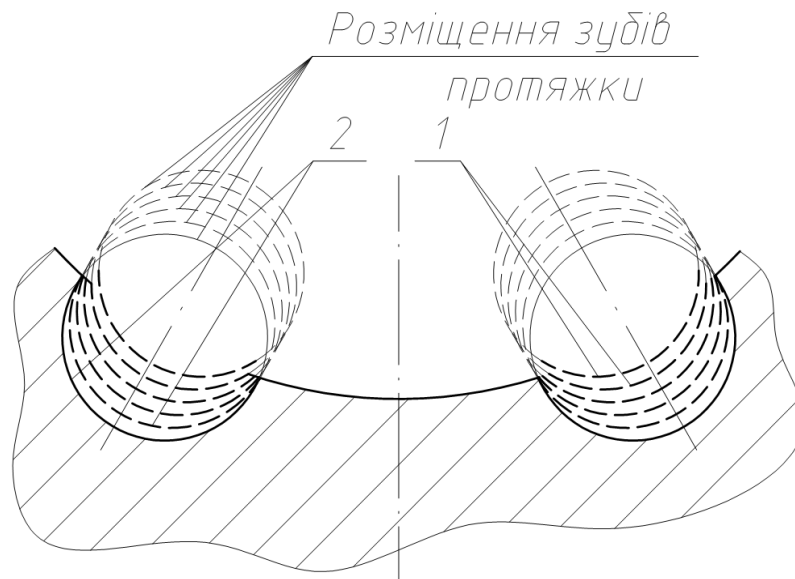
– для  $i$ -го зуба рівняння матиме вигляд

$$\frac{\pi R^2}{360^\circ} (2\beta - \alpha - \gamma) - (R - h_i) \sqrt{2Rh_i - h_i^2} + \frac{1}{2} (R - h_{i-1}) \sqrt{2Rh_{i-1} - h_{i-1}^2} + \frac{1}{2} (R - h_{i+1}) \sqrt{2Rh_{i+1} - h_{i+1}^2} = 0. \quad (12)$$

$$\alpha = 2 \arccos \frac{R - h_{i-1}}{R}; \quad \beta = 2 \arccos \frac{R - h_i}{R}; \quad \gamma = 2 \arccos \frac{R - h_{i+1}}{R}.$$

Для визначення параметра  $h_i$  (12) використаємо спеціальні (графічні) методи розв'язку трансцендентних рівнянь за допомогою САПР (MathCAD).

Оскільки протягуванням можна формувати напівкруглі канавки як на початковій, так і кінцевій стадії їх утворення, то розглянемо два випадки формування напівкруглих канавок.



**Рис. 3. Розміщення робочого профілю зубів протяжки під час обробки на різних етапах формування напівкруглих канавок:**

*1* – початковий етап формування; *2* – кінцевий етап формування

Розглянемо випадок оброблення напівкруглих канавок, коли зуби протяжки починають формування канавки (рис. 3), тобто величина проникнення його в оброблюваний матеріал є незначною ( $h_0, h_1$  наближаються до 0).

Значення величини  $h_2 = 0,754$  мм при відомих  $h_0 = 0,1$  мм;  $h_1 = 0,3$  мм;  $R = 5$  мм одержано за допомогою САПР MathCAD 2013.

Тобто це значення  $h_2$  не відповідає залежності

$$h'_2 = (h_1 - h_0) + h_1 = 2h_1 - h_0, \quad (13)$$

$$h'_2 = 2 \cdot 0,3 - 0,1 = 0,5 \text{ мм.}$$

Як бачимо, величина зміщення  $t_1$  першої кульки відносно умовного профілю канавки отриманої на попередній операції становить  $t_1 = 0,2$  мм, а от величина зміщення  $t_2$  наступної кульки відносно попередньої  $t_2 = h_2 - h_1 = 0,754 - 0,3 = 0,454$  мм.

Величина зміщення в цьому випадку майже у 2,3 рази більша від попередньої, що чинитиме значний вплив на конструктивні розміри протяжки.

Розглянемо процес оброблення, коли формування напівкруглих канавок знаходиться на завершальному етапі (рис. 3), ( $h_0, h_1$  наближаються до  $R$ ).

Для параметрів  $h_2$  при  $R = 5$  мм,  $h_0 = 4,6$  мм,  $h_1 = 4,7$  мм значення  $h_2 = 4,799$  мм.

Як бачимо, що на завершальному етапі формування напівкруглої канавки, коли значення величини  $h_0, h_1$  наближаються до  $R$ , то значення  $h_2$  наближається до

$$h'_2 = (h_1 - h_0) + h_1 = 2h_1 - h_0, \quad (14)$$

$$h'_2 = 2 \cdot 4,7 - 4,6 = 4,8 \text{ мм.}$$

### Висновки

1. Установлено, що для забезпечення умови рівномірного навантаження зубів протяжки при обробленні напівкруглих канавок величина піднімання на один зуб повинна бути різною і визначатися за виведеною залежністю і залежить від стадії формування канавки.

2. Отримано залежність для визначення величини піднімання на зуб протяжки для оброблення напівкруглих канавок за умови рівномірного навантаження зубів для забезпечення стабільності процесу різання.

### Література

1. *Расчет и проектирование протяжек [Текст]: учеб. пособие / В.В. Демидов, Г.И. Киреев. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. Ч. 1. – 95 с.*

2. *Расчет и проектирование протяжек: в 2 ч. Наружные плоские и круглые протяжки [Текст]: учеб. пособие / Г.И. Киреев, В.В. Демидов, М.Ю. Смирнов. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. Ч. 2. – 78 с.*

3. *Рыков, С.П. Проектирование металлорежущего инструмента [Текст]: учеб. пособие / С.П. Рыков, А.Г. Схиртладзе, В.Л. Хренов: 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2008. – 140 с.*

4. *Нарожных, А.Т Проектирование протяжек [Текст]: учеб. пособие / А.Т. Нарожных. – Волгоград: ВолгГТУ, 1995. – 85 с., ил.*

5. *Промптов, А.И. К расчету протяжек для шлицевых отверстий с эвольвентным профилем [Текст] / А.И. Промптов, Т.В. Зарак // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 35, № 3. – С 212.*

6. *Корн, Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Т. Корн. – М.: Наука, 1978. – 635 с.*

© В.О. Дзюра

**В.А. Дзюра, к.т.н., доц.**

Тернопольский национальный технический университет им. И. Пулюя

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОДЪЕМА НА ЗУБ ПРОТЯЖКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЛУКРУГЛЫХ КАНАВОК ПРИ РАВНОМЕРНОЙ НАГРУЗКЕ ЗУБЬЕВ

*Получены зависимости для определения величины подъема на зуб протяжки для обработки полукруглых канавок при равномерной нагрузке зубьев для обеспечения стабильности процесса резания. Получены зависимости для определения площади среза одним зубом протяжки.*

**Ключевые слова:** протяжка, площадь среза, нагрузки, канавки, зубы.

**V.O. Dzyura, Ph.D., Associate Professor**

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University

### DETERMINATION OF THE VALUE OF LIFTING ON A TOOTH BROACH FOR CUTTING THE SEMICIRCULAR GROOVES UNDER THE CONDITION OF UNIFORM TEETH LOADING

*The dependencies to determine the value of lifting on the tooth broach for cutting the semi-circular grooves under the conditions of uniform teeth loading to provide the stability of cutting process are developed. The dependences to determine the value of cutting by single tooth broach are developed as well.*

**Keywords:** broach, value of cutting, load, grooves, teeth.